

541146

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
22. Juli 2004 (22.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/061298 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F03D 1/06

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/014621

(22) Internationales Anmeldedatum:  
19. Dezember 2003 (19.12.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 00 284.7 2. Januar 2003 (02.01.2003) DE  
103 03 824.8 31. Januar 2003 (31.01.2003) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: WOBLEN, Aloys [DE/DE]; Argestrass 19,  
26607 Aurich (DE).

(74) Anwalt: GÖKEN, Klaus, G.; Eisenführ, Speiser & Part-  
ner, Postfach 10 60 78, 28060 Bremen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,

CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO Patent (BW, GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),  
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,  
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,  
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG,  
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: ROTOR BLADE FOR A WIND POWER PLANT

(54) Bezeichnung: ROTORBLATT FÜR EINE WINDENERGIEANLAGE

(57) Abstract: The invention relates to a rotor blade for a wind power plant, which has an aerodynamic profile comprising a rotor blade leading edge and a rotor blade trailing edge. The invention also relates to a rotor blade tip for a rotor blade having an aerodynamic profile with a pressure and a suction side, said rotor blade tip being bent or offset in its end section in the direction of the pressure side of the rotor blade. The aim of the invention is to further reduce noise emission of wind power plants. For this purpose, the rotor blade, in its end section, is bent or offset in the rotor blade plane in the direction of the trailing edge of the rotor blade. The invention is based on the finding that in a rotor blade whose tip is not pointed the effective rotor blade surface remains unchanged exactly in the exterior section where it is most efficient. By bending or offsetting the end section of the rotor blade, the trailing edge in the end section of the rotor blade is displaced backwards so that the current on the rotor blade trailing edge tears off in the outer section with a delay. Alternatively, the rotor blade tip can be embodied in such a manner that the exterior section is pointed. This embodiment of the rotor blade tip is based on the finding that the reduced blade depth results in a reduced air current around the blade tip since its energy is distributed across the trailing edge vortices while the effective rotor blade surface is reduced at the same time. By offsetting the rotor blade tip the effective rotor blade depth remains optimal up to the offset rotor blade tip.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Rotorblatt für eine Windenergieanlage, mit einem eine Rotorblatt-vorderkante und eine Rotorblatt-hinterkante aufweisenden aerodynamischen Profil. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Rotorblattspitze für ein Rotorblatt mit einem eine Druck- und eine Saugseite aufweisenden aerodynamischen Profil, wobei die Rotorblattspitze in ihrem Endbereich in Richtung der Druckseite des Rotorblattes abgebogen oder abgewinkelt ist. Um die Schall-emissionen von Windenergieanlagen weiter zu verringern, ist das Rotorblatt in seinem Endbereich in Richtung der Hinterkante des Rotorblattes in der Rotorblattebene abgebogen oder abgewinkelt. Dabei liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass bei einem sich an der Spitze nicht zuspitzenden Rotorblatt die wirksame Rotorblattoberfläche gerade im äusseren Bereich, in welchem die Wirkung am grössten ist, unverringert erhalten bleibt. Durch das Abbiegen bzw. Abwinkeln des Endbereiches des Rotorblattes wird jedoch die Hinterkante im Endbereich des Rotorblattes nach hinten verlegt, so dass sich die Strömung an der Rotorblatt-hinterkante mit einem zeitlichen Versatz im äusseren Bereich löst. Alternativ kann zur Lösung der Aufgabe eine Rotorblattspitze derart ausgebildet werden, dass sich der „Aussenbereich“ verzängt. Dieser Ausbildung der Rotorblattspitze liegt die Erkenntnis zu-  
grunde, dass durch die sich verringemde Blatttiefe eine verringerte Umströmung der Blattspitze erfolgt, da sich deren Energie  
auf die Hinterkantenwirbel verteilt, aber gleichzeitig auch die wirksame Rotorblattoberfläche verringert wird. Durch das Ab-  
biegen bzw. Abwinkeln der Rotorblattspitze bleibt die wirksame Rotorblatttiefe bis zur abgewinkelten Rotorblattspitze hin optimal.

WO 2004/061298 A2

---

## Rotorblatt für eine Windenergieanlage

---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Rotorblatt für eine Windenergieanlage, mit einem eine Rotorblattvorderkante und eine Rotorblatthinterkante aufweisenden aerodynamischen Profil. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Rotorblattspitze für ein Rotorblatt mit einem eine Druck- und eine Saug-  
5 seite aufweisenden aerodynamischen Profil, wobei die Rotorblattspitze in ihrem Endbereich in Richtung der Druckseite des Rotorblattes abgebogen oder abgewinkelt ist.

Solche Rotorblätter und Rotorblattspitzen sind im Stand der Technik seit langer Zeit bekannt. Insbesondere abgebogene Rotorblattspitzen werden z. B.  
10 bei Rotorblättern des Herstellers Enercon seit einiger Zeit verwendet. Diese bekannten Rotorblattspitzen sollen die zwangsläufig am Rotorblattende entstehenden Randwirbel verringern und damit die Entstehung unerwünschten Schalls verringern.

Als Stand der Technik wird an dieser Stelle allgemein auf folgende Druckschriften hingewiesen: DE 197 38 278; DE 197 43 694; DE 44 40 744;  
15 DE 196 14 420 sowie DE 44 36 197.

Weiterhin sind Rotorblätter der eingangs genannten Art bekannt, deren Spitzen elliptisch auslaufen. Auch diese Ausbildung der Rotorblattspitzen soll vom Rotorblatt bzw. insbesondere von dessen Spitze ausgehende Schallemissionen verringern.  
20

Da Windenergieanlagen inzwischen keine Einzelphänomene mehr sind, sondern vielerorts anzutreffen sind, finden sie sich auch zunehmend in der Nähe von Wohngebieten. Gerade dort ist die Akzeptanz von Windenergieanlagen

u.a. von der Schallemission abhängig und es ist leicht nachvollziehbar, dass leisere Windenergieanlagen eher akzeptiert werden als laute.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, die Schallemissionen von Windenergieanlagen weiter zu verringern.

- 5 Diese Aufgabe wird bei einem Rotorblatt für eine Windenergieanlage der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass das Rotorblatt in seinem Endbereich in Richtung der Hinterkante des Rotorblattes in der Rotorblattebene abgelenkt oder abgewinkelt ist. Dabei liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass bei einem sich an der Spitze nicht zuspitzenden Rotorblatt die
- 10 wirksame Rotorblattoberfläche gerade im äußeren Bereich, in welchem die Wirkung am größten ist, unverringert erhalten bleibt. Durch das Abbiegen bzw. Abwinkeln des Endbereiches des Rotorblattes wird jedoch die Hinterkante im Endbereich des Rotorblattes nach hinten verlegt, so dass sich die Strömung an der Rotorblatthinterkante mit einem zeitlichen Versatz im äußeren Bereich
- 15 löst. Damit wird auch die Beeinflussung der beim Lösen der Strömung von der Rotorblatthinterkante entstehenden Wirbel untereinander und somit auch die davon ausgehende Schallemission verringert. Gerade bei einem Luv-Läufer wird durch die Erfindung auch die Wechselwirkung zwischen Blattspitzenumströmung und Turmvorstau vermindert.
- 20 Dabei ist der zeitliche Versatz von dem Winkel abhängig, in dem der Endbereich zur Fädelachse des Rotorblattes verläuft. Je größer der Winkel ist, um so besser gelingt die Verringerung von Schallemissionen. Da aber andererseits mit zunehmender Feilung auf das Rotorblatt wirkende Torsionsmomente zunehmen, hat sich ein Winkel von 1 bis 45 Grad, bevorzugt von 1 bis 15
- 25 Grad, als vorteilhaft erwiesen.

Weiterhin ist ein fließender Übergang vom Rotorblatt in den Endbereich vorteilhaft, da sich bei einem schroffen Abknicken im Bereich des Knicks zusätzliche Druckschwankungen ergeben. Diese können zu einer Leistungsminde- rung und zu zusätzlichen Geräuschen führen.

Bevorzugt weist das erfindungsgemäße Rotorblatt in seinem Endbereich einen vorgegebenen Krümmungsradius auf, wobei die Krümmung besonders bevorzugt zur Rotorblattspitze hin zunimmt, d. h., der Krümmungsradius wird kleiner. Durch eine geeignet gewählte Krümmung kann der Endbereich des Rotorblattes mechanisch in einem Winkel von etwa 5 Grad abgebogen sein, während sich eine aerodynamische Wirkung ergibt, die einem Winkel von 10 Grad entspricht. Dadurch wird ein günstiges akustisches Ergebnis bei gleichzeitig ebenfalls günstigem aerodynamischem Verhalten verwirklicht.

Durch diese Feilung entstehen jedoch gleichzeitig größere Torsionsmomente in dem Rotorblatt, die auch auf den Rotorblattanschluss wirken. Dies führt natürlich auch zu einer dauerhaft höheren Beanspruchung der Anlage. Um diese höhere Belastung jedenfalls für den Rotorblattanschluss und die nachfolgenden Komponenten der Windenergieanlage auszugleichen, ist besonders vorteilhaft ein mittlerer Bereich des Rotorblattes, also ein Bereich zwischen der Rotorblattwurzel und dem in Richtung der Hinterkante gefeilten Endbereich, in Richtung der Blattvorderkante abgebogen. Dabei ist diese Abbiegung so bemessen, dass die äußere Hinterkante des gefeilten Endbereichs nicht tiefer ist als bei einem Blatt ohne einen gefeilten Endbereich.

Auf diese Weise entstehen in dem Rotorblatt selbst entgegengesetzt wirkende Torsionsmomente, die sich bei geeigneter Auslegung aufheben, so dass zwar das Rotorblatt selbst nach wie vor dieser Belastung unterworfen ist, jedoch der Rotorblattanschluss und die weiteren Komponenten der Windenergieanlage keine zusätzlichen Lasten aufnehmen müssen.

Um einerseits eine einfache Montage und andererseits eine Nachrüstung bereits vorhandener Rotorblätter zu erlauben, ist der Endbereich bevorzugt als in das Rotorblatt einsetzbares Teil ausgestaltet und weist vorzugsweise eine Länge von nicht mehr als  $1/3$  der Rotorblattlänge und insbesondere bevorzugt von ca.  $1/10$  der Rotorblattlänge auf.

Dabei kann dieser Endbereich in einer vorteilhaften Weiterbildung hohl ausgeführt sein und an seinem der Abströmung abgewandten Ende eine Öffnung

zum Entwässern aufweisen, so dass sich im Rotorblatt sammelnde Flüssigkeit, die sich z. B. in Folge von Kondensationsvorgängen bildet und durch Zentrifugalkraft zur Rotorblattspitze transportiert wird, aus dem Endbereich austreten und damit aus dem Rotorblatt entfernt werden kann.

- 5 Um die Wirkung des erfindungsgemäßen Endbereiches zu unterstützen, ist erfindungsgemäß eine Rotorblattspitze für ein Rotorblatt mit einem solchen Endbereich vorgesehen, wobei die Rotorblattspitze als selbständiges, in den Endbereich des Rotorblattes einsetzbares Teil ausgestaltet ist.

- Alternativ kann zur Lösung der Aufgabe eine Rotorblattspitze der eingangs  
10 genannten Art derart weitergebildet werden, dass sich der „Außenbereich“ verjüngt. Dieser Ausbildung der Rotorblattspitze liegt die Erkenntnis zugrunde, dass durch die sich verringernde Blatattiefe eine verringerte Umströmung der Blattspitze erfolgt, da sich deren Energie vorher auf die Hinterkantenwirbel verteilt, aber gleichzeitig auch die wirksame Rotorblattoberfläche verringert  
15 wird. Durch das Abwinkeln der Rotorblattspitze bleibt die wirksame Rotorblatttiefe bis zur abgewinkelten Rotorblattspitze hin optimal. Der sich zuspitzende Bereich verläuft in einem vorgegebenen, bevorzugten Winkel von der Rotorblattebene weg in Richtung der Druckseite des Rotorblattes. Dabei wird der Wirbel an der Rotorblattspitze gleichzeitig aus der Rotorblattebene herausge-  
20 löst und in eine andere Ebene verlegt. Dies wirkt sich wiederum günstig auf die Schallemission des mit einer solchen Spitze ausgestatteten Rotorblattes aus und verringert gleichzeitig am Rotorblatt auftretende Verluste. Dies betrifft sowohl die Randwirbelverluste und den aerodynamischen Wirkungsgrad, der sich durch eine geeignete Auslegung verbessern lässt, wie auch eine günstige  
25 Gestaltung des Druckgefälles zwischen Druck- und Saugseite.

- Besonders bevorzugt ist der Außenbereich der Rotorblattspitze aus der Horizontalen in einem Winkel von ca. 70° bis 90° aus der Horizontalen abgebo-  
gen. Anders ausgedrückt schließt die Rotorblattspitze mit dem Rotorblatt einen Winkel von ca. 110° bis 90° ein. Bei empirischen Untersuchungen haben  
30 sich bei diesen Winkeln die günstigsten Ergebnisse gezeigt.

In einer besonders bevorzugten Weiterbildung ist die erfindungsgemäße Rotorblattspitze als selbständiges, in das Rotorblatt einsetzbares Teil ausgestaltet. Darüber hinaus ist die Rotorblattspitze hohl ausgeführt und besteht bevorzugt aus Metall, insbesondere Aluminium. Durch die hohle Ausführung kommt es zu einer Gewichtsverringerung und damit zu einer leichteren Handhabbarkeit.

Darüber hinaus kann eine hohle Rotorblattspitze ebenso wie ein oben beschriebener, hohler Endbereich eines Rotorblattes, z. B. zur Beseitigung bzw. Verminderung von Eisansatz, von Warmluft durchströmt werden.

Außerdem kann eine aus Metall hergestellte Rotorblattspitze als Blitzfänger dienen und somit gefangene Blitze in eine geeignete Ableitvorrichtung weiterleiten, um dadurch die Windenergieanlage im Fall eines Blitzeinschlages wirksam zu schützen.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher beschrieben. Dabei zeigen:

Figur 1 eine Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Rotorblatt mit einem abgehobenen Endbereich gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

Figur 2 ein erfindungsgemäßes Rotorblatt mit einem abgebogenen Endbereich gemäß einer zweiten, bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Figur 3 eine weitere Darstellung der zweiten Ausführungsform der Erfindung;

Figur 4 noch eine weitere Darstellung der zweiten Ausführungsform;

Figur 5 eine dritte Ausführungsform eines gefeilten Rotorblattes;

- Figur 6 eine Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Rotorblattspitze;
- Figur 7 eine Vorderansicht einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Rotorblattspitze;
- 5 Figur 8 eine Vorderansicht einer alternativen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Rotorblattspitze;
- Figur 9 eine Vorderansicht einer alternativen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Rotorblattspitze; und
- 10 Figur 10 eine Darstellung eines Rotorblattes mit einem erfindungsgemäß ausgebildeten Endbereich und einer erfindungsgemäßen Rotorblattspitze.

In Figur 1 ist ein erfindungsgemäßes Rotorblatt 10 einer Windenergieanlage gezeigt. In diesem Rotorblatt 10 ist die Fädelachse 14 angedeutet. Die Fädelachse 14 ist eine gedachte Achse, auf die alle Teile eines Rotorblattes 10 aufzufädeln sind, damit sich die gewünschte Rotorblattform ergibt.

Der Endbereich 12 des Rotorblattes 10 ist in einem vorgegebenen Winkel  $\alpha$  gegenüber einer ersten Fädelachse 14 abgeknickt. Für den Endbereich 12 ist eine zweite Fädelachse 16 dargestellt und zwischen den beiden Fädelachsen 14, 16 ist der Winkel  $\alpha$  angegeben. Dieser betrage in dieser Figur 5 Grad.

20 Dieses Maß stellt einen akzeptablen Kompromiss zwischen verringerter Schallemission und erhöhter Belastung dar.

Dabei ist der Endbereich in der Rotorblattebene in Richtung der Rotorblatt-Hinterkante 20 abgeknickt. Dieses Abknicken führt einerseits zu einer längeren Hinterkante und damit zu einer breiteren Verteilung der Wirbelenergie.

25 Andererseits löst sich die Strömung an der Hinterkante des Rotorblattes 10 in dem abgeknickten Endbereich 12 später ab als in dem geraden Bereich des Rotorblattes 10. Dadurch entstehen die Geräusche erzeugenden Wirbel entsprechend später.

Eine verbesserte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Rotorblattes 10 ist in Figur 2 gezeigt. Auch in dieser Figur sind die Fädelachsen 14, 16 eingezeichnet. Allerdings erfolgt der Übergang vom Rotorblatt 10 in den Endbereich 12 hier nicht in einem scharfen Knick, sondern verläuft eher stetig in Form einer Krümmung. Allerdings nimmt die Krümmung zur Rotorblattspitze hin zu. Der Krümmungsradius wird also zur Rotorblattspitze hin kleiner.

In dem Endbereich 12 ist in diesem Fall der Bogentangente an der Spitze der Rotorblatthinterkante 20 und zur Rotorblattmitte hin parallelverschoben. Zwischen den Fädelachsen 14, 16 ist ein Winkel  $\beta$  angegeben. Dieser betrage 10 Grad.

Diese 10 Grad ergeben sich eben aus dem Verlauf der Bogentangente an der Rotorblattspitze, wobei die ausgeführte Feilung des Rotorblattes 10 aber nicht größer ist, als bei dem in Figur 1 dargestellten Rotorblatt 10. Entsprechend weicht das aerodynamische Verhalten von dem in Figur 1 gezeigten Rotorblatt nur geringfügig ab, während das akustische Verhalten aber aufgrund des größeren Winkels  $\beta$  besser ist.

Dieser vorstehend dargelegte Sachverhalt wird anhand von Figur 3 noch eingehender erläutert. In dieser Figur ist insbesondere der Endbereich 12 des Rotorblattes 10 dargestellt. Die Hinterkante des Endbereiches 12 ist dabei einmal entsprechend der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform abgeknickt dargestellt. Diese Variante ist mit den Bezugszeichen 21 bezeichnet. Gleichzeitig ist auch die Ausführungsform mit der gebogenen Hinterkante 20 dargestellt.

Hier ist deutlich erkennbar, dass die äußerste Rotorblattspitze an den Hinterkanten 20 und 21 jeweils am gleichen Punkt liegt; die Rotorblatttiefe ist also aus aerodynamischer Sicht unverändert.

In dieser Figur ist weiterhin die erste Fädelachse 14 (ursprüngliche Blattfädelachse) angegeben. Weiterhin ist die parallel verschobene Bogentangente 17 und die zweite Fädelachse 16 (Tip-Fädelachse) entsprechend der Hinter-



kante 21 des Endbereichs eingetragen. Die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  sind ebenfalls dargestellt. Der Winkel  $\alpha$  betrage wiederum 5 Grad. Er wird gebildet durch die erste Fädelachse 14 des Rotorblattes 10 und die zweite Fädelachse 16 entsprechend der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform des Rotorblattes. Der Winkel  $\beta$  ist eingeschlossen zwischen der ersten Fädelachse 14 und der Bogen-  
5 tangente 17 entsprechend der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform. Der Winkel  $\beta$  betrage 10 Grad.

Hier ist also der Vorteil der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform besonders gut erkennbar.

10 Figur 4 zeigt nochmals das erfindungsgemäß gefeilte Rotorblatt 10 mit der Vorderkante 18, der Hinterkante 20 und dem in Richtung der Hinterkante 20 gefeilten Endbereich 12. Weiterhin sind in dieser Figur zwei Linien 22, 23 dargestellt, die den Verlauf der Vorderkante 18 und der Hinterkante 20 ohne den gefeilten Endbereich 12 darstellen. Bereits in dieser Figur ist gut zu erkennen,  
15 in welchem Maß der Endbereich 12 durch die Feilung in Richtung der Hinterkante 20 des Rotorblattes 10 gefeilt ist.

In Figur 5 ist eine alternative Ausführungsform des erfindungsgemäßen Rotorblattes 10 gezeigt, dass sich von dem in Figur 4 dargestellten durch einen mittleren Abschnitt 13 unterscheidet, der in Richtung der Vorderkante 18 des Rotorblattes 10 gefeilt ist. Natürlich gilt auch für diese Feilung der Vorteil des fließenden Übergangs zwischen den einzelnen Bereichen des Rotorblattes 10.  
20 Dabei ist diese Feilung in Richtung der Vorderkante 18 so bemessen, dass der äußerste Punkt des in Richtung der Hinterkante 20 gefeilten Endbereiches 12 des Rotorblattes wieder innerhalb der gestrichelten Linien 22, 23 liegt, welche auch in dieser Figur den gedachten, geradlinigen Verlauf des Rotorblattes  
25 angeben.

Daraus resultieren einander entgegengesetzt wirkende Torsionsmomente in dem Endbereich 12 und dem mittleren Bereich 13 des Rotorblattes, die sich bei geeigneter Bemessung in ihrer Wirkung am Rotorblattanschluss aufheben.

Figur 6 zeigt ein Rotorblatt 10 mit einem erfindungsgemäßen Randbogen 30, der von der Saugseite 24 des Rotorblattes 10 weg, also zur Druckseite des Rotorblattes 10 hin verläuft. Die Oberkante 36 des Randbogens weist eine möglichst geringe Profildicke auf, um den sich dort ablösenden Randwirbel so  
5 gering wie möglich zu halten, damit eine ebenfalls möglichst geringe Schallemission entsteht.

Der Randbogen 30 ist bevorzugt in einem Winkel von ca. 60° bis 90° aus der Horizontalen abgebogen. D. h., er schließt mit dem Rotorblatt einen Winkel zwischen 120° und 90° ein. Dieser Bereich wird durch zwei aufwärts abgebo-  
10 gene Abschnitte 30, 31 dargestellt, von denen einer mit einer gestrichelten Linie dargestellt ist.

In Figur 7 ist eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Randbogens 30 in der Vorderansicht dargestellt. In dieser Figur verläuft die Hinterkante 34 des Randbogens 30 sowie die Oberkante 36 des Randbogens geradlinig, während die Vorderkante 32 zwischen der Rotorblatt-Vorkante 26 und der  
15 Randbogen-Oberkante 36 von der Saugseite 24 des Rotorblattes weg mit einem vorgegebenen Winkel verläuft. Dadurch verkürzt sich die Randbogen-Oberkante 36 gegenüber der Tiefe des Rotorblattes, erkennbar an der Rotorblatt-Saugseite 24. Das Rotorblatt hat also bis zum Randbogen 30 hin seine  
20 aerodynamisch voll wirksame Tiefe und geht erst im Randbogen 30 in eine kürzere Randbogen-Oberkante 36.

Gleichzeitig wird der an der Rotorblatt-Oberkante 36 abreißende Randwirbel aus der Ebene des Rotorblattes 10 herausgeführt, so dass der Randwirbel von der Blattebene weggeführt wird.

Figur 8 zeigt eine alternative Ausführungsform des in Figur 7 gezeigten Randbogens. Während in Figur 7 eine im Wesentlichen senkrecht zur Rotorblattlängsachse verlaufende Randbogen-Hinterkante 34 dargestellt ist, ist auch dieser Randbogen in Figur 8 in Richtung der Hinterkante 34 gefeilt. Durch diese Feilung wird der Ablösepunkt 37, in dem sich die Strömung von diesem  
30 Randbogen löst, noch weiter nach hinten verlegt und entsprechend wird die

Energie der Randwirbel noch weiter verteilt und die Schallemission ist noch weiter verringert.

Das Wirkprinzip ist bei der in Figur 9 gezeigten Ausführungsform des Randbogens 30 ähnlich. Allerdings ist dieser Randbogen 30 auf einen möglichst geringen Randwirbel hin optimiert. Dazu verlaufen die Randbogen-Vorderkante 32 und die Randbogen-Hinterkante 34 mit einer vorgegebenen geschwungenen, besonders bevorzugt elliptischen Steigung zu der Randbogen-Oberkante 36 hin. Dabei ist die Randbogen-Oberkante 36 wiederum von der Rotorblatt-Saugseite 24 fort, also zu der Druckseite hin aus der Rotorblattebene abgebogen.

Durch die elliptische Ausbildung der Randbogen-Vorderkante 32 und der Randbogen-Hinterkante 34 wird gleichzeitig die Strecke verlängert, auf welcher sich die Strömung vom Rotorblatt löst. Dies führt ebenfalls zu einer verringerten Schallemission, da eine Umströmung der Blattspitze anders als bei stumpf auslaufenden Blattgeometrien weitestgehend entfällt.

Das Verhältnis von Tiefe zu Höhe (die Tiefe ist in Fig. 9 in der Aufsicht die Breite) des abgewinkelten Abschnitts des Randbogens beträgt etwa 1:0,8 bis 1,2, bevorzugt 1:1. Das Verhältnis der Höhe des abgewinkelten Abschnitts des Randbogens zur Tiefe des Rotorblatts am Anschluss des Randbogens beträgt etwa 1:1 bis 1:1,3, bevorzugt 1:1,14. Dabei ist der Tiefenverlauf im abgewinkelten Abschnitt des Randbogens annähernd hyperbolisch (in der Aufsicht die Profildbreite) und der oberste Kappenpunkt des äußersten Profilschnittes liegt bei etwa 30 bis 40%, bevorzugt 33% Profiltiefe, bezogen auf die Fädelachse des Blattes.

Figur 10 zeigt ein Rotorblatt 10 mit einer Kombination aus abgebogenem Endbereich 12 und daran anschließenden Randbogen 30. Dabei ist die Abbiegung des Endbereiches 12 von der Vorderkante 26 des Rotorblattes hin zu der Hinterkante 20 sowie eine Abbiegung des Randbogens 30 aus der Rotorblattebene heraus deutlich erkennbar. Entsprechend vereinigen sich hier die

vorteilhaften akustischen Wirkungen des abgebogenen Endbereichs 12 einerseits und des abgewinkelten Randbogens 30 andererseits.

Das beschriebene erfindungsgemäße Rotorblatt ist Teil eines Rotors einer Windenergieanlage.

Ansprüche

1. Rotorblatt für eine Windenergieanlage, mit einem eine Rotorblattvorderkante und eine Rotorblatthinterkante aufweisenden aerodynamischen Profil, wobei das Rotorblatt (10) in seinem Endbereich (12) in Richtung der Hinterkante (20) des Rotorblattes (10, 12) in der Rotorblattebene abgebogen oder abgewinkelt ist.
2. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Endbereich (12) in einem Winkel zwischen 1 und 45 Grad zur Fädelachse (14) verläuft.
3. Rotorblatt nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel im Bereich von 1 bis 15 Grad liegt.
4. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hinterkante des Rotorblattes (10) fließend in die Hinterkante (20) des Endbereichs (12) übergeht.
5. Rotorblatt nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Hinterkante (20) des Endbereichs (12) einen vorgegebenen Krümmungsradius aufweist.
6. Rotorblatt nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch eine zunehmende Krümmung zur Rotorblattspitze hin.
7. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Endbereich (12) als selbständiges, in das Rotorblatt (10) einsetzbares Teil ausgestaltet ist.
8. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Endbereich (12) höchstens 1/3 der Rotorblattlänge bildet.

9. Rotorblatt nach Anspruch 7 oder 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Endbereich (12) einen im Querschnitt verringerten Bereich zum Einsetzen in das Rotorblatt (10) aufweist.
10. Rotorblatt nach Anspruch 9,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass in dem Querschnitt verringerten Bereich wenigstens eine Aussparung vorhanden ist.
11. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 7 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Endbereich (12) hohl ausgeführt ist.
12. Rotorblatt nach Anspruch 11,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass an seinem der Anströmung abgewandten Ende eine Öffnung zum Entwässern vorhanden ist.
13. Rotorblatt nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass sich an die Öffnung ein Röhrchen anschließt.
14. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet  
15 durch einen in Richtung der Vorderkante abgewinkelten Bereich (13) zwischen der Rotorblattwurzel (11) und dem Endbereich (12).
15. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Rotorblatt (10) aus glasfaserverstärktem Kunststoff besteht und dass leitfähige Elemente zum Blitzableiten in das Rotorblatt (10) eingearbeitet sind, die mit dem Endbereich (12) in leitendem Kontakt stehen.  
20
16. Rotorblattspitze für ein Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorblattspitze (30) als selbständiges, in  
25 den Endbereich (12) des Rotorblattes (10) einsetzbares Teil ausgestaltet ist.

17. Rotorblattspitze für ein Rotorblatt mit einem eine Druck- und eine Saugseite aufweisenden aerodynamischen Profil, wobei die Rotorblattspitze in ihrem Außenbereich in Richtung der Druckseite des Rotorblattes abgebogen oder abgewinkelt ist,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass sich der Außenbereich verjüngt.
18. Rotorblattspitze nach Anspruch 17,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Rotorblattprofil im Bereich der Biegung fließend in das Profil des Außenbereichs übergeht.
19. Rotorblattspitze nach Anspruch 17 oder 18,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnittsebene des Außenbereichs in einem vorgegebenen Winkel zu der Querschnittsebene des übrigen Rotorblattes (10) verläuft.
20. Rotorblattspitze nach einem der Ansprüche 17 bis 19,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorblattspitze (30) als selbständiges, in  
15 das Rotorblatt (10) einsetzbares Teil ausgestaltet ist.
21. Rotorblattspitze nach einem der Ansprüche 16 bis 20,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorblattspitze (30) einen im Querschnitt verringerten Bereich zum Einsetzen in das Rotorblatt (10) aufweist.
22. Rotorblattspitze nach Anspruch 21,  
20 dadurch gekennzeichnet, dass in dem im Querschnitt verringerten Bereich wenigstens eine Aussparung vorhanden ist.
23. Rotorblattspitze nach einem der Ansprüche 16 bis 22,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorblattspitze (30) hohl ausgeführt ist.
24. Rotorblattspitze nach Anspruch 23,  
25 dadurch gekennzeichnet, dass an ihrem der Anströmung abgewandten Ende eine Öffnung zum Entwässern vorhanden ist.

25. Rotorblattspitze nach Anspruch 24,  
dadurch gekennzeichnet, dass sich an die Öffnung ein Röhrchen anschließt.

26. Rotorblattspitze nach einem der Ansprüche 16 bis 25,  
dadurch gekennzeichnet, dass sie aus Metall, insbesondere Aluminium, be-  
steht.

27. Rotorblatt mit einer Rotorblattspitze nach einem der Ansprüche  
17 bis 26.

28. Rotorblatt mit einer Rotorblattspitze nach einem der Ansprü-  
che 17 bis 26,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Rotorblatt (10) aus glasfaserverstärktem  
Kunststoff besteht und dass leitfähige Elemente zum Blitzableiten in das Ro-  
torblatt (10) eingearbeitet sind, die mit der Rotorblattspitze (30) in leitendem  
Kontakt stehen.

29. Windenergieanlage mit einem Rotor, der mit wenigstens einem Rotor-  
blatt und einem der vorhergehenden Ansprüche ausgestattet ist.



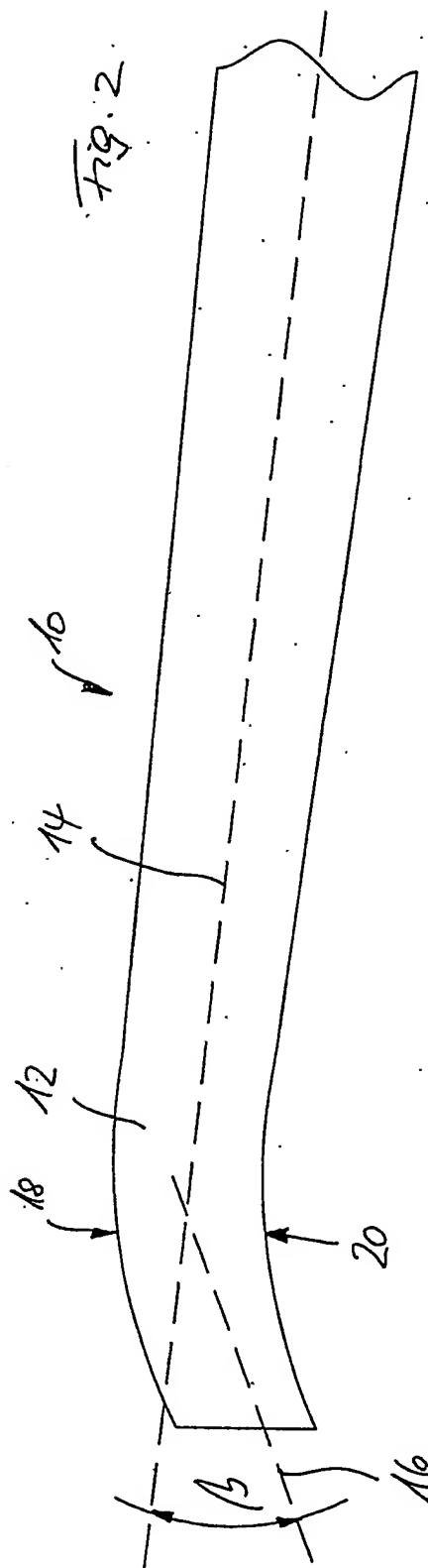
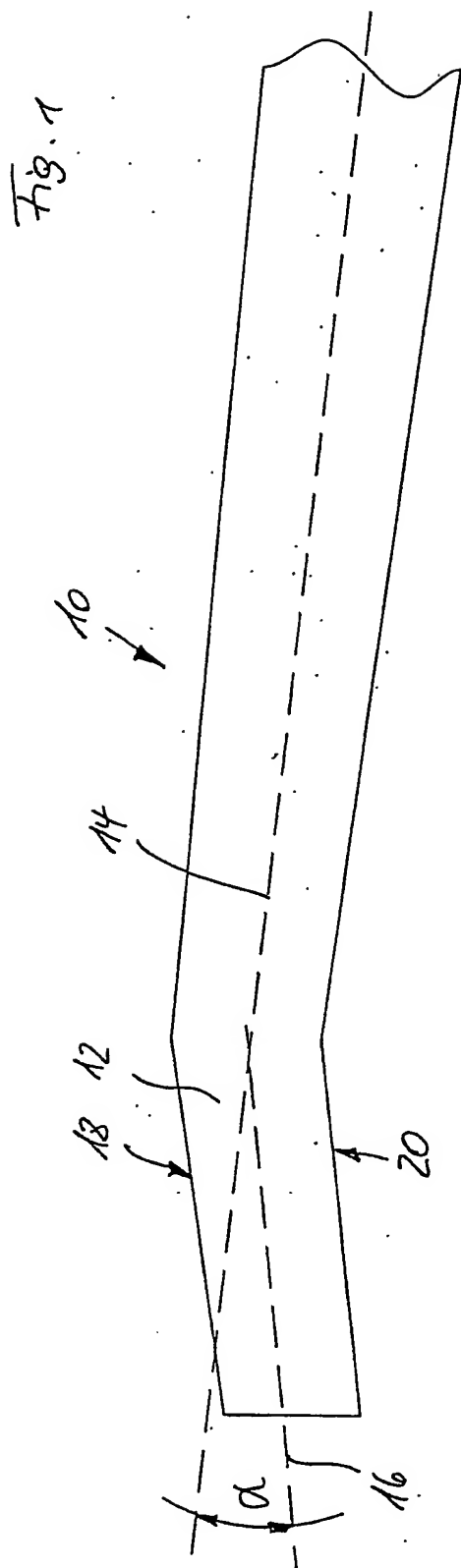
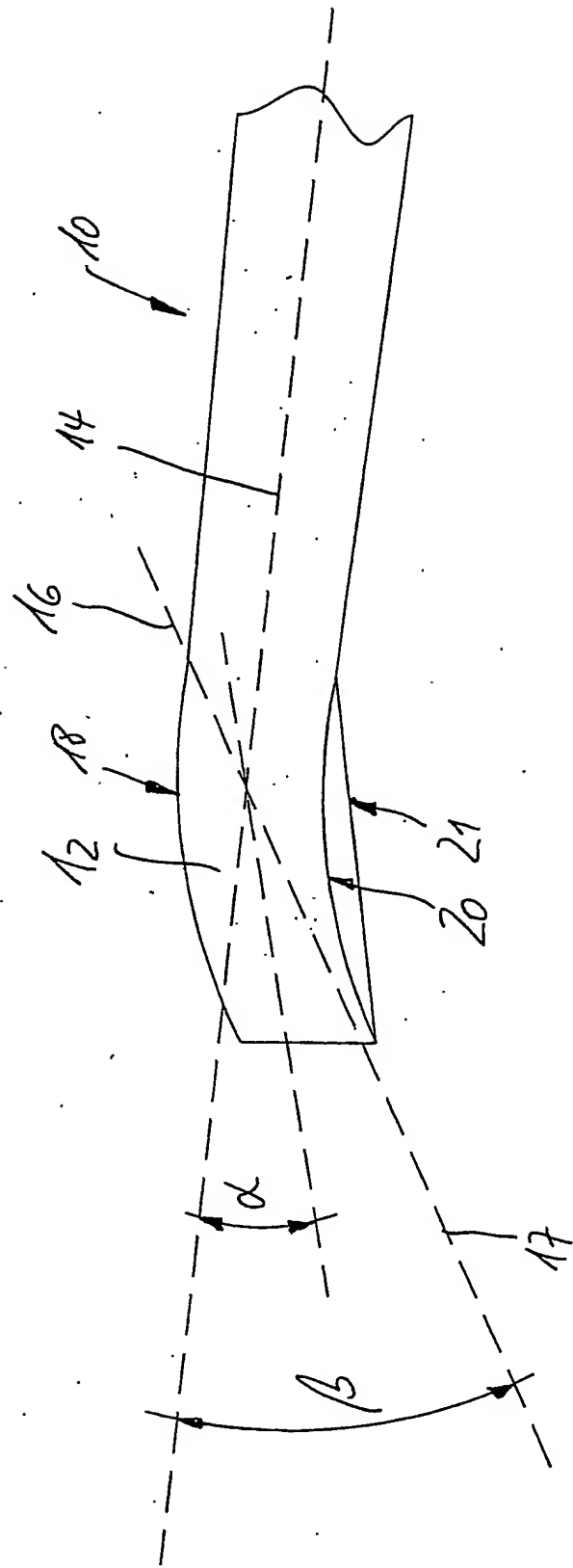


Fig. 3



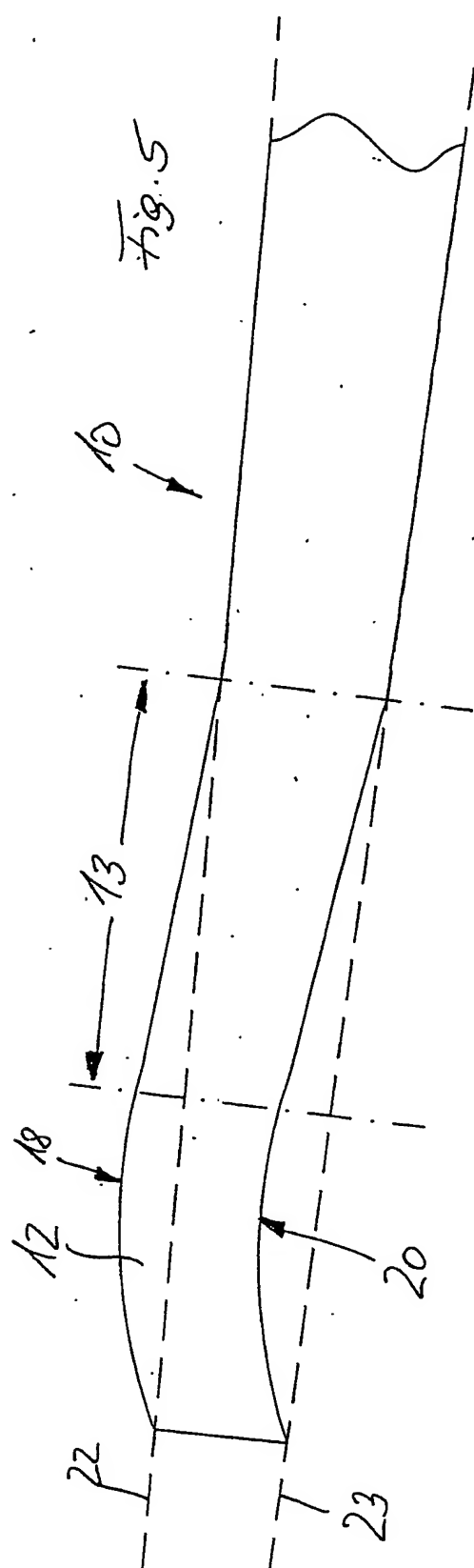
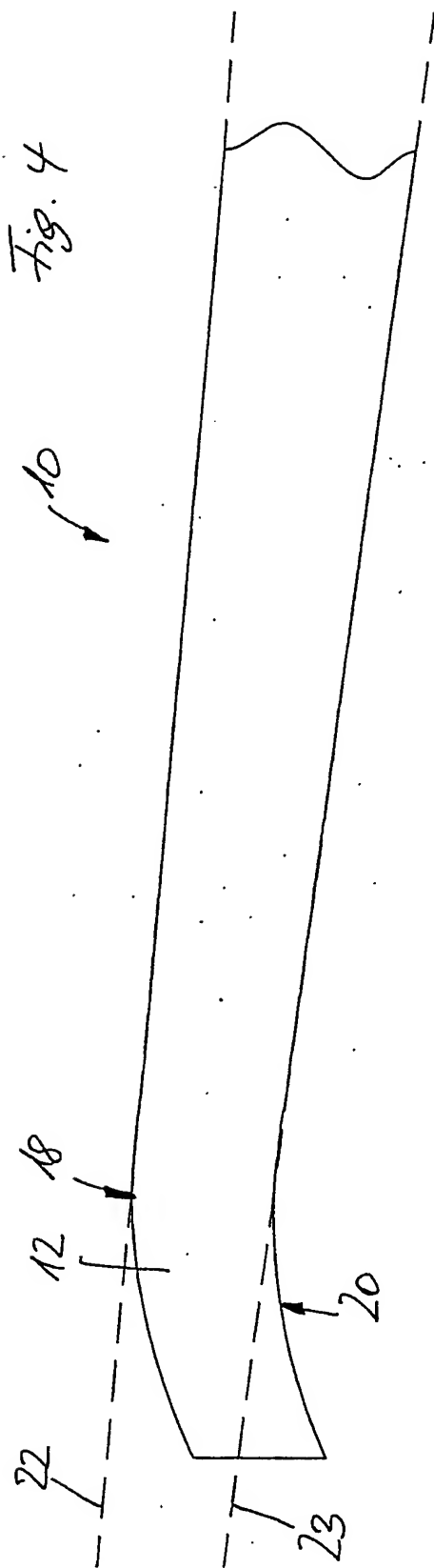


Fig. 6

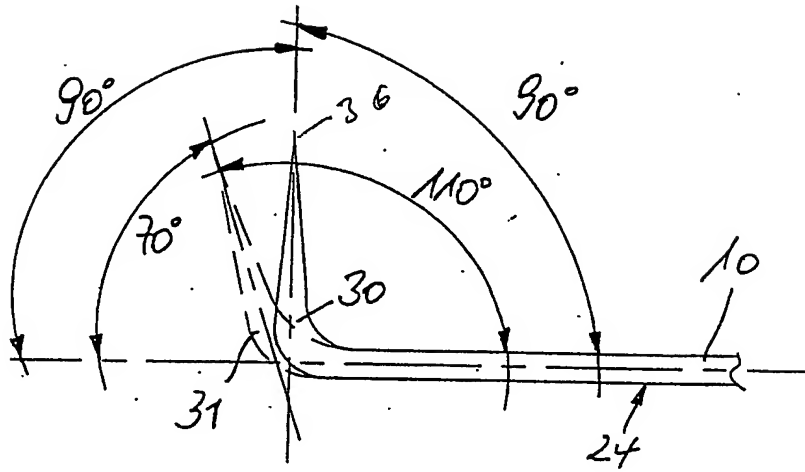


Fig. 7

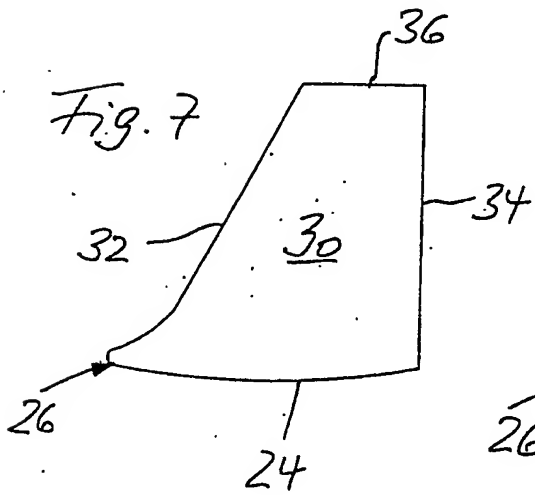


Fig. 8

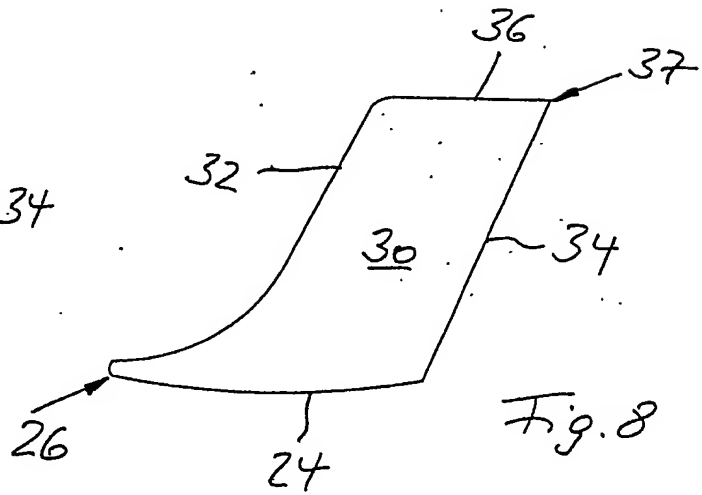


Fig. 9

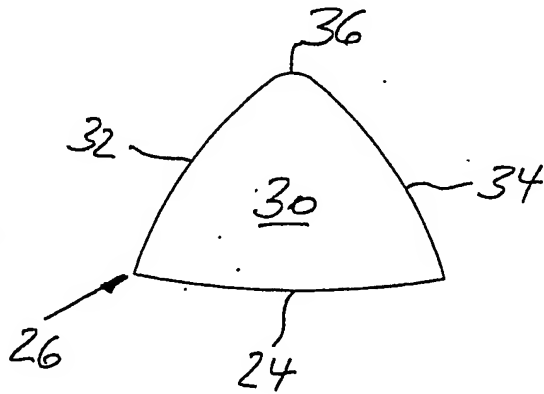


Fig. 10

